

V-156 電位ステップ法を用いたコンクリート中鋼材の腐食モニタリング法
（その1）原理及び室内実験について

NTT(株) 正会員○豊田 修次
NTT(株) 宮田 恵守
NTT(株) 高沢 壽佳

1. はじめに

従来、半永久的と見られていたコンクリート構造物も近年では様々な劣化が問題となってきている。中でもコンクリートの中性化や塩害等の要因による鉄筋の腐食は、構造物の強度に与える影響が大きく、重要である。コンクリートで覆われた鉄筋腐食を非破壊で検知する手法として自然電位や分極抵抗を測定する方法が検討されている¹⁾。この中で、分極抵抗は鉄筋の腐食速度に関する情報が得られるため、構造物の維持管理面で非常に有効である。しかし、フィールドにおいて実構造物を対象に腐食モニタリングを実施する場合鋼材の電気化学的特性のため分極抵抗の測定に長時間を要するという問題が残されていた。そこでフィールドで迅速かつ正確な分極抵抗を測定する腐食モニタリング技術の検討を実施している。

本報では、この課題を解決するために、コンクリート中の鋼材の電位をステップ状に走査した時の応答電流波形を解析して、分極抵抗を迅速に測定する技術を検討した結果を述べる。

2. 分極抵抗測定による腐食診断

図1にコンクリート中鋼材の電気化学等価回路を示す。ここで R_p は鋼材の腐食反応の抵抗（分極抵抗）、 R_s はコンクリート抵抗、 C_{dl} はコンクリートと鋼材の界面に形成される電気2重層の容量である。分極抵抗は、コンクリートの強アルカリ性で不動態化している鋼材では数 $M\Omega \cdot cm^2$ 以上の大きな値、中性化や塩害で腐食している鋼材では数 $k\Omega \cdot cm^2$ 以下の小さな値となる。そこで、 R_p を測定することにより測定により腐食モニタリングが可能となる。一方、 C_{dl} は鋼材の場合 $1000\mu F/cm^2$ 以上の大きな値を示す。このため交流インピーダンス法²⁾により分極抵抗を求める場合には、1mHz以下の超低周波による長時間の測定が必要となる。

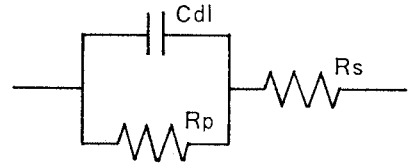


図1 コンクリート中鋼材の電気化学等価回路

3. 電位ステップ法を用いた測定の原理

分極抵抗のもう一つの代表的測定法である直線分極抵抗法では、鋼材の電位を数mV変化させた時に流れる電流値を測定して R_p を求める。この方法でも C_{dl} が充電されて定常状態に達するまでに千秒程度の長い時間を必要とするが、予め C_{dl} の充電が完了していれば短時間での測定が可能となる。しかし、現実にはこのような確かな充電条件は不明であり、実現は困難である。そこで、各種の電荷量で充電を実施した場合の電流の応答波形を解析することにより、定常状態での電流値を推定する方法について検討を行った。図2に示すようなステップ状の電位走査を実施して C_{dl} の充電を実施した場合、電位を E_p に走査した後の電流 I は次式により与えられる。

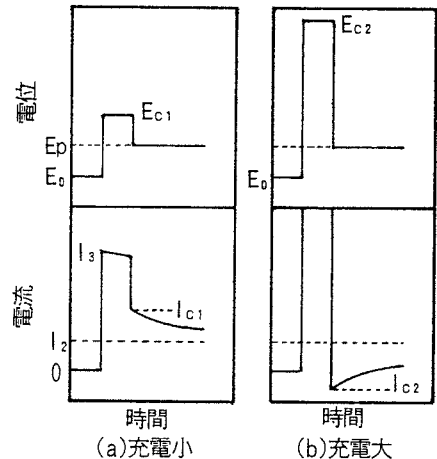


図2 電位ステップ法による充電電荷量と電流の挙動

$$I = \frac{Cdl \cdot Rp \cdot Vp - Q \cdot (Rp + Rs)}{Cdl \cdot Rs \cdot (Rp + Rs)} \cdot \exp\left(-\frac{Rp + Rs}{Cdl \cdot Rp \cdot Rs} \cdot t\right) + \frac{Vp}{Rp + Rs} \quad (1)$$

ここで、 t は電位を E_p に走査した後の経過時間、 $V_p = (E_p - E_0)$ 、 Q は Cdl に充電された電荷量である。この式より電位を E_p へ走査後の電流値とその変化率の関係としては次式が求められる。

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{Rp + Rs}{Cdl \cdot Rp \cdot Rs} \cdot I + \frac{Vp}{Cdl \cdot Rp \cdot Rs} \quad (2)$$

この式は電流値とその変化率の関係が直線となる事を示している。図3に示すように幾つかの充電条件で測定した電位とその変化率の関係から、この直線を決定すれば I_2 が推定され、この I_2 を用いて $(Rp + Rs) = Vp / I_2$ により全抵抗が求められる。一方、充電時の電位 E_c における電流 I_3 を用いることにより、コンクリート抵抗 R_s が $R_s = Vc / I_3$ (ここで $Vc = (E_c - E_0)$)で与えられ、 R_p はこれら2項の差で算出される。

4. 性能確認と考察

抵抗とコンデンサにより作成した模擬回路および供試体(100x100x100mmの標準モルタル中に10x10mmの鋼板を埋設)で性能確認を行った。尚、腐食状態の鋼材も測定するためにセメント重量比で5%のNaClを添加したサンプルも測定した。模擬回路による測定では、電流とその変化率は(2)式と一致した良い直線関係を示し、 $Cdl = 1000 \mu F$ の場合、 $R_p = 100k\Omega$ まで精度の良い測定が可能であった。供試体による測定でも、模擬回路と同様、図4に示す良好な直線関係を示した。電位ステップ法と交流インピーダンス法による測定結果の比較を表1に示す。その結果、両測定法による測定値は R_p, R_s 共に比較的良く一致しており、電位ステップ法により測定した分極抵抗は、交流インピーダンス法で0.5mHzの超低周波数まで測定した値と同等であることが確認された。

5. まとめ

本検討により以下の点が明らかになった。

- ①電位ステップ走査法を用いることにより、コンクリート中鋼材の分極抵抗を1点あたり10秒程度で測定可能である。
- ②電位ステップ走査法による分極抵抗の測定値は交流インピーダンス法による測定値と良く一致する。

参考文献

- 1)横田優：電気化学手法によるコンクリート中の鉄筋腐食評価、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12、No.1、pp.545-560、1990
- 2)春山志郎・水流徹・阿南正治：腐食している電極の交流インピーダンス、防食技術、Vol.27、pp.449-456、1978

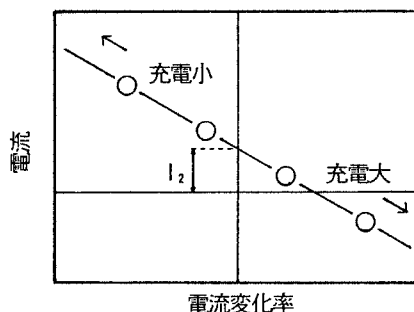


図3 電流と電流変化率の回帰直線

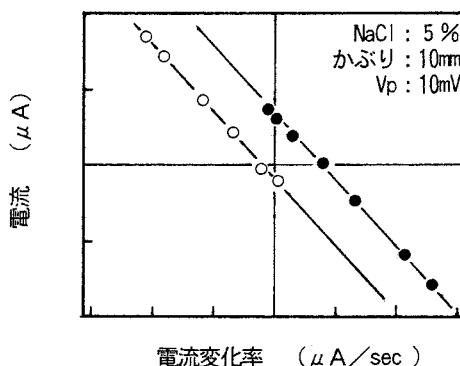


図4 電位ステップ法による分極抵抗測定

表1 電位ステップ法と交流インピーダンス法による測定結果の比較

(単位:kΩ cm²)

試料	測定法項目	電位ステップ法		交流インピーダンス法	
		R _p	R _s	R _p	R _s
NaCl 0% かぶり10mm		1100	7.5	1500	6.0
NaCl 5% かぶり10mm		0.7	1.5	0.6	1.5
NaCl 5% かぶり50mm		7.1	9.0	8.0	6.5

(*交流インピーダンス法は0.5mHzにおける値を採用)